

PENGGUNAAN *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON POROUS

Rita Anggraini¹⁾, Refky Elfran Nanda²⁾, Hendri Warman³⁾, Taufik⁴⁾, Rini Mulyani⁵⁾,
^{1,2,3,4,5)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bung Hatta, Padang.

Email korespondensi : rita.anggraini@bunghatta.ac.id.

ABSTRAK

Beton berpori pada pembangunan infrastruktur jalan sangat jarang digunakan dan memiliki keunikan tersendiri. Pembangunan jalan lingkungan pada umumnya menggunakan pekerasan beton. Ada jenis beton dikenal dengan beton berpori. Dengan adanya pori-pori pada beton, maka dapat digunakan untuk menyerap limpasan permukaan dan sekaligus menambah cadangan air tanah, serta mencegah terjadinya banjir. Perkerasan jalan dengan beton berpori ini merupakan salah satu alternatif perkerasan yang diharapkan dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang ada. Salah satu caranya dengan menggunakan limbah pabrik yaitu *fly ash*. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan tambah pada semen untuk beton, karena memiliki sifat pozzolan yang dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan menggunakan beton pori dengan *fly ash* sebagai limbah pabrik yang terbukti dapat meningkatkan kekuatan pada beton. Maka salah satu cara agar material hasil produksi sampingan tersebut tidak mencemarkan lingkungan adalah dengan menggunakan material tersebut sebagai bahan penambah sebagian semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan porositas beton porous dengan penggunaan *fly ash* serta komposisi campuran maksimum dan minimum yang diperoleh pada campuran *fly ash* dengan variasi 0% 15%, 25%, dan 35%, dan menggunakan metode dari [1] American Concrete Institute 522 R-10. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi campuran *fly ash* 25% merupakan hasil yang optimum dimana hasil kuat tekan yang diperoleh sebesar 10,333 MPa dengan porositas dengan campuran *fly ash* Minimum sebesar 29.3%. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan pada variasi 0%, nilai kuat tekannya 9,483 MPa dan porositasnya 36.1%, hasil variasi *Fly Ash* 15% nilai kuat tekannya 8.776 MPa, porositasnya 29.3%, hasil variasi *Fly Ash* 25% nilai kuat tekannya 10,333 MPa dan porositasnya 31.2%. dan nilai variasi *Fly Ash* 35% nilai kuat tekannya 9,766 MPa, dan porositasnya 33.2%.

Kata kunci: Beton Porous, Kuat Tekan, Porositas

Porous concrete in road infrastructure development is rarely used and has its own uniqueness. The construction of environmental roads is known as concrete pavement, which is made of porous concrete. With the presence of pores in concrete, it can be used to absorb surface runoff and at the same time increase groundwater reserves, and prevent flooding. Paving the road with porous concrete is an alternative that is expected to reduce existing environmental problems. One of the methods used to produce porous concrete is to use factory waste, namely fly ash. Fly ash can be used as an additive of cement in concrete, since it is pozzolanic with the presence of water and calcium hydroxide to produce cementitious compounds. Thus, it can increase strength and durability of concrete. Therefore, this research was conducted using porous concrete with fly ash as factory waste which is proven to increase the strength of the concrete. To prevent the by-product material from polluting the environment is to use the material as a mixture of cement. This study aims to determine the compressive strength and porosity of porous concrete with the use of fly ash and the maximum and minimum mixture composition obtained in fly ash mixtures with variations of 0% 15%, 25%, and 35%, and using the method of [1] American Concrete Institute 522 R-10. Based on the results of the study showed that the variation of the 25% fly ash mixture was the optimum result where the compressive strength obtained was 10.333 MPa with a porosity with a minimum fly ash mixture of 29.3%. From the results of this study, it can be concluded that the 0% variation, the compressive strength value is 9.483 MPa and the porosity is 36.1%, the 15% Fly Ash variation has a compressive strength value of 8.776 MPa, the porosity is 29.3%, the 25% Fly Ash

variation has a compressive strength value of 10.333 MPa and the porosity 31.2%. and the value of Fly Ash variation is 35%, the compressive strength is 9,766 MPa, and the porosity is 33.2%.

Keywords: Porous Concrete, Compressive Strength, Porosity,

1. PENDAHULUAN

Perkerasan beton berpori sangat jarang digunakan dalam pembangunan infrastruktur. Apabila melihat kegunaan dari beton berpori sebagai beton multifungsi terutama untuk menanggapi isu green engineering, maka beton berpori dapat dianggap layak dijadikan salah satu bahan konstruksi ringan yang memegang peranan penting di masa depan. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian tentang cara pembuatan, komposisi, dan daya tahan dari beton berpori sebagai bahan konstruksi pada jalan beton terutama untuk aplikasi konstruksi dengan beban yang relatif ringan.

Pekerasan menggunakan beton berpori sebagai salah satu alternatif perkerasan diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan yang ada. Dengan penggunaan beton berpori maka air permukaan, terutama air hujan akan dapat disalurkan ke dalam tanah kembali agar tidak terbuang begitu saja. Sehingga dapat menambah cadangan air tanah, serta mencegah terjadinya banjir. Akan tetapi dengan adanya pori-pori pada beton maka kuat tekan beton berpori akan lebih rendah dari pada beton normal, sehingga beton jenis ini lebih cocok digunakan untuk menahan beban lalu lintas yang rendah pada aplikasinya sebagai perkerasan.

Fly Ash merupakan material yang berwarna kecoklatan, memiliki ukuran butir yang halus, dan diperoleh dari hasil residu pembakaran batubara. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa *fly Ash* dikategorikan sebagai bahan B3. Hal ini yang menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan karena *fly Ash* hasil dari pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan. Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, *fly ash* terbukti dapat meningkatkan kekuatan dari beton. Maka salah satu cara agar material hasil produksi sampingan tersebut tidak mencemarkan lingkungan adalah dengan menggunakan material tersebut sebagai bahan penambah sebagian semen. Namun secara umum *fly ash* lebih dominan mengandung senyawa oksida (SiO_2 dan Al_2O_3). Perbedaan dari beberapa tipe abu terbang tergantung dari jumlah kadar senyawa oksida (SiO_2 dan Al_2O_3) dan kadar CaO (kapur) yang terkandung dalam abu terbang tersebut.

Dalam penelitian ini agregat yang digunakan dengan gradasi seragam. Oleh karena itu untuk mengetahui karakteristik beton berpori dengan agregat dengan gradasi seragam, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kuat tekan dan porositas beton porous yang dapat dicapai oleh beton berpori maupun faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton berpori dalam menahan perubahan bentuk yang terjadi akibat pembebanan. [2] SNI 7656-2012 tentang Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton, porositas, permeabilitas dan kuat tekan Standar Nasional Indonesia, 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Slinder, [3] (SNI 1974-2011). Beton porous yang dapat dicapai oleh beton berpori maupun faktor yang mempengaruhi kekuatan beton berpori dalam menahan perubahan bentuk yang terjadi akibat pembebanan. Tujuan Penelitian ini adalah Untuk mengetahui nilai kuat tekan dan porositas beton porous serta komposisi maksimum dan minimum yang dihasilkan pada campuran *Fly Ash* dengan Varasi 0% 15%, 25%, dan 35%.

Perkerasan beton berpori sangat jarang digunakan dalam pembangunan infrastruktur. [4] *Pd T-07-2005-B Mutu beton dan penggunaan*, maka beton berpori dapat dianggap layak dijadikan salah satu bahan konstruksi ringan yang memegang peranan penting di masa depan. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian tentang cara pembuatan, komposisi, dan daya tahan dari beton berpori sebagai bahan konstruksi pada jalan perumahan terutama untuk aplikasi konstruksi dengan beban yang relatif ringan, *Fly Ash* merupakan material yang berwarna kecoklatan, memiliki ukuran butir yang halus, dan diperoleh dari hasil residu pembakaran batu bara.

Berdasarkan penguraian di atas oleh sebab itu penulisan tertarik melakukan penelitian dengan judul Penggunaan *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous pada Perkerasan Beton.

2. STUDI LITERATUR

2.1 Beton Porous

Beton Porous yang juga dikenal sebagai beton pori, *pervious concrete* atau *porous concrete* merupakan jenis beton yang memiliki pori-pori atau rongga pada strukturnya, sehingga memungkinkan cairan mengalir melalui rongga-rongga yang terdapat pada beton. Menurut ACI 522R-10 *Report on Pervious Concrete* beton berpori yang terbentuk dari semen *portland*, agregat kasar, air dan campuran tambahan *Fly Ash*.

Beton porous bukanlah suatu jenis beton yang umum dipakai dalam suatu konstruksi dikarenakan oleh sifatnya yang berongga. Menjadikan aplikasi penggunaan beton porous masih terbatas, bahkan di Indonesia sendiri masih kurang dirasakan. Dikarenakan jenis konstruksi yang biasanya diandalkan untuk penyerapan air pada jalan adalah berbentuk *paving block*. Sifat berongga yang dimiliki oleh beton porous membuat beton jenis ini memiliki kuat tekan lebih rendah dari pada jenis beton padat yang biasanya digunakan, sehingga membuat beton berpori lebih cocok bila digunakan untuk aplikasi yang tidak membutuhkan nilai kuat tekan yang tinggi. Jenis struktur yang dapat menggunakan beton porous adalah lapangan parkir, lantai rumah kaca, perkerasan lapisan atas untuk taman, lapangan tenis, tempat pejalan kaki, dan juga sebagai perkerasan kaku untuk jalan lokal dengan intensitas lalu lintas yang rendah. Sehingga secara garis besar beton porous dapat diaplikasikan untuk jenis struktur yang tidak membutuhkan tulangan beton, karena dengan adanya tulangan pada beton porous akan memberikan resiko karat pada tulangan yang disebabkan oleh cairan yang dapat menembus rongga beton.

Akan tetapi disini penulis ingin melakukan eksperimen yaitu pengaruh yang ditimbulkan beton porous terhadap porositas, permeabilitas dan kuat tekan beton porous dimana bahan tambah menggunakan *Fly Ash*, sebagai penambah semen. Demikian halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran. Sifat masing-masing bahan juga berbeda dalam hal perilaku beton segar maupun pada saat sudah mengeras, selain faktor biaya yang perlu diperhatikan. Di lain pihak, secara volumetris beton diisi oleh agregat sebanyak 70-75%. Jadi agregat juga mempunyai peran yang sama pentingnya sebagai material pengisi beton.

Penambahan *Fly Ash* pada campuran beton dapat berfungsi antara lain:

- Menurunkan panas hidrasi
- Memperlambat waktu pengikatan
- Mengurangi Porositas
- Meningkatkan ketahanan terhadap klorida
- Meningkatkan ketahanan terhadap reaksi alkali silika dan sulfat
- Meningkatkan *Workability*

2.2 Pakerasan Kaku Beton Porous

Beton banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan, salah satunya dalam bidang transportasi yaitu sebagai bahan perkerasan jalan yang biasa disebut jalan beton atau perkerasan kaku (*rigid pavement*). Dalam adukan beton, air, dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butiran-butiran agregat halus juga bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak/padat (Tjokrodimuljo, 1996).

Nilai banding berat air dan semen untuk suatu adukan beton dinamakan faktor air semen. Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai faktor air semen (*f.a.s*) 0,4-0,6 tergantung mutu beton dan hendak dicapai. Semakin tinggi mutu beton yang ingin dicapai umumnya menggunakan nilai *f.a.s* rendah, sedangkan dilain pihak, untuk menambah daya *workability* (kelecekan, sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai factor air semen yang lebih tinggi (Dipohusodo, 1990).

Akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air kelebihan dari yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton, agar adukan beton dapat dicampur dengan baik, diangkut dengan mudah dan dapat dicetak tanpa rongga-rongga yang besar (tidak keropos). Akan tetapi hendaknya selalu diusahakan jumlah air sesedikit mungkin, agar kekuatan beton tidak terlalu rendah. Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh besarnya pori-pori pada beton. kelebihan air akan mengakibatkan beton berpori banyak, sehingga hasilnya kurang kuat dan juga lebih berpori (*porous*) (Tjokrodimuljo, 1996).

Menurut Kardiyono Tjokrodimulyo (1996) bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya.

Fly ash sebagai material silika adalah material pozzolan yang paling banyak digunakan sebagai bahan tambah material semen. Dalam industri konstruksi pengembangan dan penggunaan semen campuran semakin meningkat dan *fly ash* mendapat perhatian lebih karena penggunaannya dapat meningkatkan properti dari semen, menghemat biaya, dan mengurangi.

2.3 Material Pembentukan Beton

2.3.1 Semen Portland

Semen adalah bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. (Benarndo Pangaribuan, Holcium). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling (Clinker) portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat (CaSO_4) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (*Mineral in Component*). fungsi dari penggunaan semen adalah sebagai bahan pengisi rongga-rongga udara antara celah-celah yang terdapat pada agregat dan menjadi bahan pengikat agregat agar menghasilkan suatu bentuk massa yang kuat dan padat dalam beton. Selain itu, semen portland yang sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi termasuk jenis semen hidrolis, artinya dapat menjadi keras bila terkena air dan tidak terpungkiri juga bila diletakkan dalam ruang bebas dan terpapar cahaya matahari secara langsung dapat mempercepat proses pengerasan pada semen.

Pada penelitian ini semen yang digunakan semen Portland tipe PCC. Semen PCC adalah semen portland yang masuk dalam kategori *Belended Cement* atau semen campur. Semen campur ini dibuat atau di design karena dibutuhkannya sifat-sifat tertentu yang mana sifat tersebut tidak dimiliki oleh semen portland, untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada

semen campur maka pada proses pembuatannya ditambahkan bahan adiktif seperti *Pozzolan*, *Fly Ash*, *Silica Fume* dan lainnya.

Sifat-sifat yang dimiliki semen PCC (*Portland Composit Cement*) antara lain adalah sebagai berikut:

1. Mempunyai panas hidrasi rendah sampai sedang
2. Tahan terhadap serangan sulfat
3. Kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatan akhir lebih tinggi.

2.3.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alam dimana fungsinya sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat dalam campuran beton menempati sebanyak kurang lebih 70 % dari volume beton atau mortar.

Dalam teknologi beton, agregat yang digunakan terdiri dari banyaknya klasifikasi yaitu:

a. Ditinjau dari asalnya

- Agregat Alam

Agregat alam agregat yang menggunakan bahan baku batu alam atau hasil penghancurannya. Agregat alam ini dapat dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu: kerikil dan pasir alam, agregat batu pecah dan agregat batu apung.

- Agregat Buatan

Agregat buatan adalah suatu agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan tertentu (khusus) atau karena kekuarangan agregat dari batuan alam. Agregat ini umumnya dibuat adalah agregat ringan.

b. Ditinjau dari Tekstur Permukannya

Sehubungan kuat ikatan antar butiran, maka keadaan permukaan agregat dapat dibedakan atas kasar, agak kasar, licin dan agak licin. Berdasarkan pemeriksaan visual, tekstur agregat dapat dibedakan kedalam agregat sangat halus (*glassy*), halus, granular, kasar, berkristal (*crystaline*), berpori dan berlubang lubang. Permukaan yang kasar akan memberikat ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan agregat yang mempunyai permukaan yang licin. Secara umum permukaan agregat ini sangat mempengaruhi pada kemudahan pengerjaan, semakin licin permukaan agregat semakin sulit beton untuk dikerjakan. Secara umum permukaan agregat yang kasar, lebih disukai untuk pekerjaan beton.

c. Ditinjau dari besar butirannya

Agregat ini terdiri dari agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir).

Agregat berdasarkan ukurannya, dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar, ialah agregat yang semua butirannya tertahan saringan berukuran 4,75 mm. Sedangkan agregat halus ialah agregat yang semua butirannya lolos saringan dengan ukuran 4,75 mm.

2.3.4 Air

Air merupakan salah satu bahan penting dalam pembuatan adukan beton. Air diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen, namun dalam kenyataannya FAS yang dipakai sulit jika $< 0,35$ (Tjokrodimulyo dalam Arusmalem Ginting, 2015). Fungsi dari air adalah sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan teruspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak, dan bebas dari material organik (*Mindes et al*, 1996).

Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi hidrasi yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran ini menjadi keras setelah melewati beberapa waktu tertentu. Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi tidak banyak, kira-kira 30% dari berat

semen. Dengan menambah lebih banyak air harus dibatasi sebab penggunaan air yang terlalu banyak dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Siti Nurlina, 2008).

2.3.5 Fly Ash

Abu terbang adalah salah satu limbah yang dihasilkan dalam pembakaran batubara berbentuk partikel-partikel halus. Menurut PP No. 85 Tahun 1999 abu terbang masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan (Indonesia1999). Pelindihan adalah proses ekstrasi zat dari padatan dengan melarutkannya dalam cairan baik secara alami maupun melalui suatu proses industri. Tata cara mengenai pengelolaan limbah B3 diatur dalam PP No.101 Tahun 2014. Namun dari beberapa penelitian yang dilakukan di Negara lain, abu terbang tidak termasuk dalam kategori limbah B3. Menurut Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (U.S. Environmental Protection Agency 2014) abu terbang diklasifikasikan sebagai limbah “*non-hazardous*”, tidak menyebabkan pencemaran pada air, tidak berdampak pada kesehatan masyarakat, dan salah satu pencemaran yang sering terjadi dan mengganggu kesehatan adalah pencemaran udara. Kurda, Silvestre, and Brito (2018) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan abu terbang berdampak pada pengurangan terjadinya pencemaran lingkungan. Gas emisi CO₂ dapat diturunkan dari 18% menjadi 57% dengan meningkatkan kadar abu terbang dalam beton dari 24% hingga 70%. Komposisi senyawa kimia abu terbang berbeda antara satu produksi dengan produksi lainnya. Perbedaan tersebut tergantung dari sumber batubara dan metode pembakaran yang digunakan pada setiap PLTU. Namun secara umum abu terbang lebih dominan mengandung senyawa oksida (SiO₂ dan Al₂O₃). Perbedaan dari beberapa tipe abu terbang tergantung dari jumlah kadar senyawa oksida (SiO₂ dan Al₂O₃) dan kadar CaO (kapur) yang terkandung dalam abu terbang tersebut. Abu terbang terbagi dalam tiga kelas yaitu kelas F, kelas C, dan kelas N. Kelas F dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit dan bituminous, sedangkan kelas C dari batu bara jenis lignite dan subituminous. Kelas C memiliki kadar kapur tinggi. Pada umumnya abu terbang kelas F banyak digunakan sebagai bahan substitusi semen karena banyak mengandung senyawa oksida lebih dari 50% dan kapur (CaO) yang kurang dari 10%. Persyaratan komposisi kimia abu terbang yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi semen berdasarkan SNI 2460:2014 (BSN 2014) ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Persyaratan Komposisi Senyawa Kimia *fly ash* untuk Beton

No.	Uraian	Kelas F
1	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min.	70%
2	SO ₃ , Maks.	5%
3	Kadar air, maks.	3%
4	Hilang pijar, maks.	6%
5	CaO	Kurang dari 10%

Sumber: BSN (2014)

3. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari serangkaian pengujian Beton Porous pada Perkerasan material beton campuran *Fly Ash* ini dengan pemeriksaan material dasar penyusun beton, pembuatan sampel benda uji dan pengujian kuat tekan dan porositas Beton Porous yang dilaksanakan di Laboratorium Material dan Struktur Universitas Bung Hatta.

Pengujian material dasar beton porous merupakan pengujian pendahuluan yang dilakukan sebelum masuk ketahap pembuatan *mix design* dengan tujuan untuk menguji sifat-sifat bahan penyusun beton porous serta menganalisa segala jenis bentuk material yang akan

digunakan. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah, semen, air, agregat kasar dan bahan tambahan *Fly Ash*.

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Teluk Sirih. Adapun Pengujian terhadap *fly ash* dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia dari fly ash tersebut, dengan kandungan kimia yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

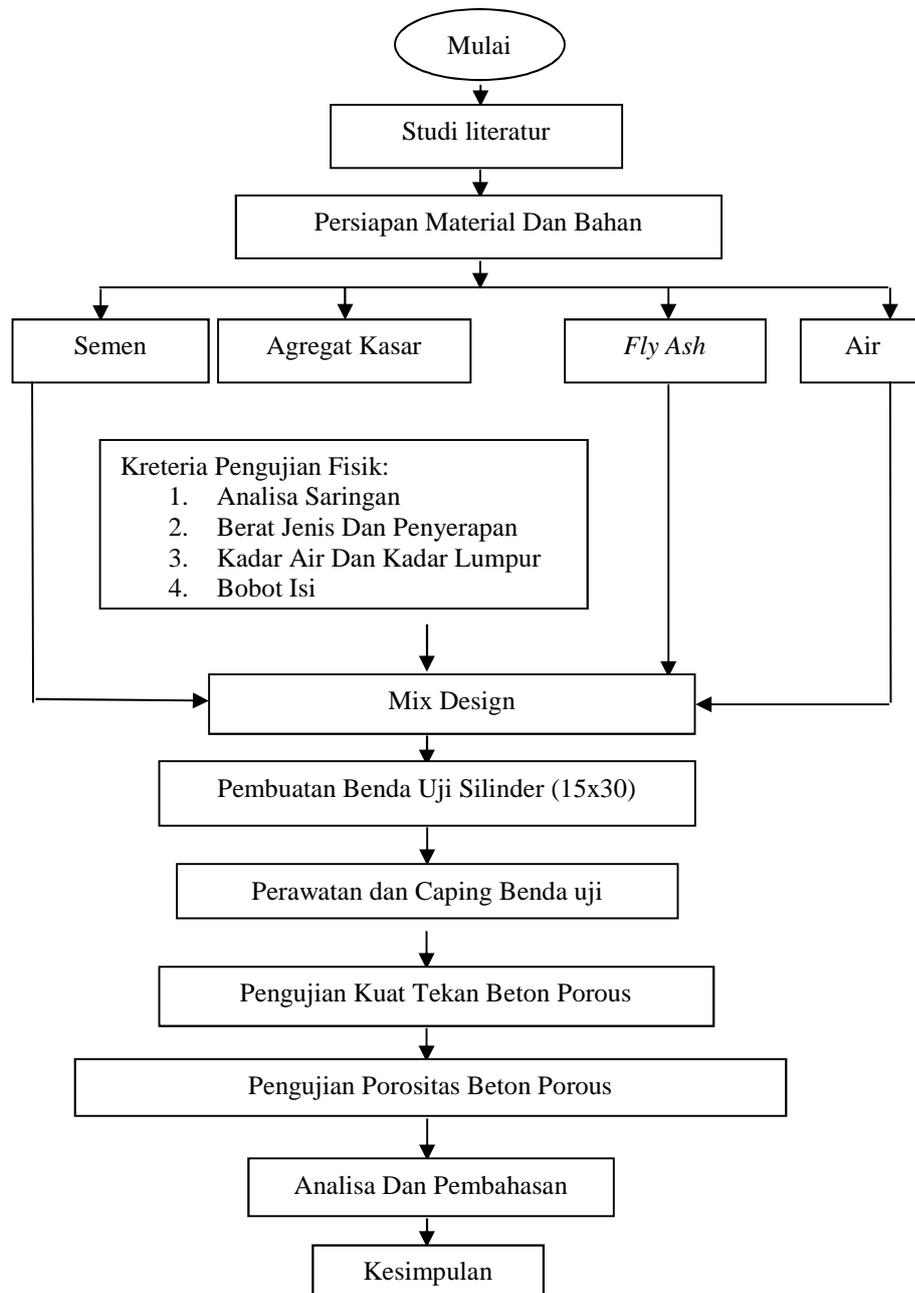
Tabel 2. Hasil Kandungan Kimia *Fly Ash* PLTU Teluk Sirih

No	Komposisi Kimia	Persentase (%)
1	SiO ₂	43.26
2	Al ₂ O ₃	23.69
3	Fe ₂ O ₃	12.23
4	CaO	9.79
5	SO ₃	0.26

(Sumber: hasil pengujian *fly ash* PT. Sucofindo)

Dalam penelitian mengenai beton porous ini, peneliti melakukan dua tahapan pengujian yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian lanjutan. Pengujian pendahuluan merupakan pengujian yang dilakukan untuk pemeriksaan sifat dan karakteristik material dasar pembentuk beton yang meliputi; pengujian agregat kasar (*split*) sesuai dengan spesifikasi teknis agregat. Kemudian, data-data hasil pengujian tersebut digunakan untuk perhitungan campuran beton *mix design* ACI 522 R10(*report on pervious concrete*) dengan kuat tekan yang direncanakan sebesar 18 MPa. Sedangkan pengujian lanjutan adalah pengujian porositas yang menggunakan metode ACI 522 R10(*report on pervious concrete*) dan pengujian kuat tekan beton yang menggunakan metode dari SNI 1974-2011 (Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder).

Adapun langkah-langkah pengujian material penyusun beton campuran *Fly Ash*, dapat dilihat pada bagan alir berikut ini :



Gambar 1. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

4.1.1 Penentuan Kadar Lumpur dan Kadar Air Agregat Kasar

Berdasarkan pemeriksaan kadar lumpur dan kadar air pada agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Lumpur dan Kadar Air Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar Lumpur	0,8	%
2	Kadar Air	1	%

Berdasarkan hasil perhitungan analisa data di atas, didapatkan bahwa kadar lumpur 0,80 % dan kadar air memiliki persentase sebesar 1 %.

4.1.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan berdasarkan data sesuai dengan tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Data Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

No.	Pemeriksaan	Berat
1	Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (W1)	500 gr
2	Berat benda uji kering oven (W2)	495 gr
3	Berat benda uji dalam air (W3)	1098 gr
4	Berat Gelas Ukur + Air (W4)	799 gr

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diatas, didapatkan hasil perhitungan Berat Jenis SSD sebesar 2.61 gr/cm^3 , Berat Jenis Kering sebesar 2.53 gr/cm^3 , Penyerapan sebesar 1 %.

4.1.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berdasarkan Pemeriksaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada table 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

No.	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Berat Jenis Kering	2,53	%
2	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)	2,61	%
3	Penyerapan Air	1	%

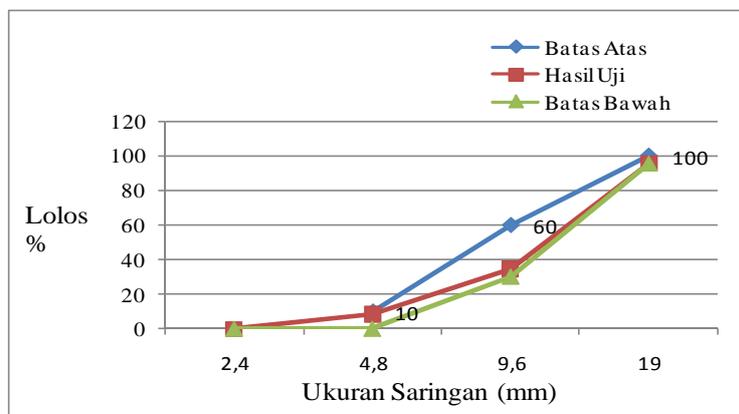
4.1.4 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Berikut merupakan pemeriksaan analisa saringan agregat kasar, yaitu dapat dilihat dari tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Data Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Berat Tertinggal		% Kumulatif	
ASTM	Mm	Gram	Jumlah %	Tertahan	Lolos
3/4 in	19	4,5	45	4,5	95,21
3/8 in	9.6	63,1	63,4	65,42	34,58
No. 4	4,8	25,5	25,8	94,91	8,23
No. 8	2,4	7,5	74,9	100	0,00

Berdasarkan tabel diatas, dapat di-lihat bahwa hasil analisa saringan agregat kasar yaitu dengan persen kumulatif tertinggi adalah pada saringan ukuran 19 mm 95.21 % lolos. Saringan ukuran 9.6 mm 34.58% lolos, saringan ukuran 4.8 mm 8.23 % lolos, dan saringan ukuran 2.4 mm 0 % lolos.



Gambar 2. Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar

Dengan memasukkan nilai yang diperoleh pada analisa saringan agregat kasar pada grafik gradasi agregat kasar diatas, maka dapat diperoleh hasil batas susunan butiran agregat kasar 10 mm dan 20 mm (ACI 522R 10) memenuhi syarat, ini terlihat dari hasil pengujian agregat kasar berada di antara batas atas dan batas bawah gradasi yang telah ditetapkan.

4.1.5 Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar

Pada pengujian bobot isi agregat kasar di perlukan data volume takaran, berat takaran, berat gembur serta berat padat, yaitu dengan besaran yang telah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 7. Data Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar

Benda uji	Volume Takaran (Liter)	Berat Takaran (W ₁) gram	Berat Gembur (W ₂) gram	Berat Padat (W ₃) gram
1	2,75	2999	6203	6616
2	6,5	4954	12832	13495

Berdasarkan hasil perhitungan analisa data didapatkan bahwa berat isi gembur pada benda uji 1 lebih kecil jika dibandingkan dengan benda uji 2, yaitu hanya sebesar 1212 gram/liter.

Tabel 8. Hasil Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar

Volume Takaran (liter)	Berat Isi Gembur (gr/ltr)	Berat Isi Padat(gr/ltr)
2.75	1476	1666
6.5	1212	1314
Rata-Rata	1344	1490
Rata-Rata Berat Akhir	1417	

Berdasarkan tabel 8, dapat di-lihat bahwa rata-rata akhir yang dihasilkan dari pengujian bobot isi agregat kasar adalah sebesar 1417 gr/ltr.

4.1.6 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Berdasarkan hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar komposisi standar ACI-522 R-10 yang di dapat dari laboratorium untuk Perencana *Mix Design* di lihat dari tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

NO	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar ACI 522R-10	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0,80 %	Maksimum 1 %	Memenuhi standar
2	Berat Jenis SSD	2,61	2,5 - 2,7	Memenuhi standar
3	Kadar Air	1,00 %	-	-
4	Penyerapan	1 %	-	-
5	Berat Isi Gembur	1344 gr/liter	-	-
6	Berat Isi Padat	1490 gr/liter	-	-

4.2 Perhitungan Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Penelitian ini mempunyai tiga variasi campuran *Fly Ash* beton porous dimana variasi yang pertama adalah variasi *Fly Ash* 0%, 15%,25% dan 35% agregat kasar bergradasi 10mm, dan 20mm. Dan untuk membuat campuran bahan beton porous nya penulis memakai standar dari ACI-522 R-10 tentang perencanaan campuran *pervious concrete* atau perencanaan campuran beton porous. Adapun definisi dari langkah-langkah dalam standart ACI-522 R-10 tersebut adalah sebagai berikut :

4.2.1 Kebutuhan bahan campuran satu benda uji silinder Ø15 cm dan tinggi 30 cm dan benda uji Ø10 cm dan tinggi 15 cm.

Untuk pembuatan benda uji diperlukan cetakan berbentuk silinder dengan ukuran Ø 15 cm dan tinggi 30 cm. Maka volume untuk 1 buah benda uji silinder adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume 1 buah silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 15^2 \times 30 \\
 &= 0.53 \text{ cm}^3 \\
 &= 0.0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Maka untuk mendapatkan hasil komposisi bahan campuran 1 buah cetakan silinder, setiap bahan campuran dikalikan dengan volume cetakan silinder sebesar 0.0053 m³, didapatkan hasilnya sebagai berikut:

Tabel 10. Kebutuhan Untuk 1 Benda Uji Beton (0.0053 m³) campuran *Fly Ash* Untuk selinder

No	Bahan Campuran	Proporsi (kg)	Penjelasan
1	Semen	1.61	330.935 kg/m ³ x 0.0053m ³
2	Agregat kasar	7.4	1402 kg/m ³ x 0.0053m ³
3	Air	0.66	125.75 kg/m ³ x 0.0053m ³
4	Bahan Tambah (<i>Fly Ash</i>)	0.006	1.207 kg/m ³ x 0.0053m ³

Tabel 11. Kebutuhan Bahan Untuk Satu Kali Adukan Benda Uji Silinder

Kadar Penambah Semen dengan <i>Fly Ash</i>	Total Volume (m ³)	Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)	Air (kg)
0%	0,0053	1,61	7,4	0%	0,66
15%	0,0053	1,61	7,4	0,241	0,66
25%	0,0053	1,61	7,4	0,402	0,66
35%	0,0053	1,61	7,4	0,563	0,66

Selanjutnya dilakukan Perhitungan Untuk benda uji pipa Silinder ukuran Ø 4 Inch atau Diameter (d) 0,10 m dan tinggi (t) 0,15 m.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume 1 buah Pipa} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,10^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,10)^2 \times 0,15 \\
 &= 0,0012 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4.2.2 Hasil Pengukuran nilai Slump

Nilai slump sangat mempengaruhi pengerjaan beton porous dalam memberikan kemudahan dan kecepatan (*workability*) dalam pengerjaan di lapangan. Nilai slump yang didapat dari hasil pengujian beton porous pada campuran *Fly Ash* 0%, 15%, 25% dan 35% sebagai berikut.

Tabel 12. Hasil Pengukuran Nilai Slump

Volume <i>Fly Ash</i> (%)	Tinggi Slump (cm)			Rata-rata
	Umur Kuat Tekan			
	7	14	28	
0	14	14,5	15,5	14,6
15	14,5	15	15	14,8
25	12,5	13	13	12,8
35	12	12	12,3	12,1

Berdasarkan nilai slump yang diperoleh dalam penelitian ini berada pada kondisi slump geser.

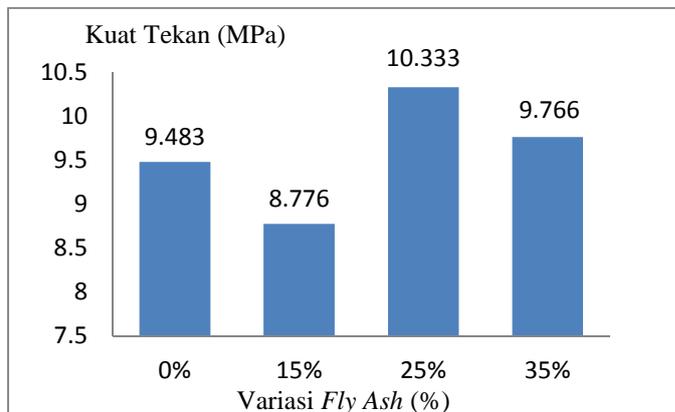
4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat hasil Kuat tekan beton porous yang maksimal pada campuran *Fly Ash* 25% yaitu 10,333 Mpa Penambahan *Fly Ash* dalam pencampuran beton berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan hal ini dapat dilihat dari grafik korelasi yang menunjukkan nilainya meningkat terus dari pada beton porous normal.

Tabel 13. Hasil Kuat Tekan Beton Porous Umur 28 Hari

No	Variasi <i>Fly Ash</i>	Kuat tekan f_c' 28 hari (MPa)
1	0%	9,483
2	15%	8,776
3	25%	10,333
4	35%	9,766

Berdasarkan data yang telah didapat dari hasil perhitungan kuat tekan karakteristik beton porous, maka data tersebut dimasukkan kedalam grafik berikut ini:



Gambar 3. Grafik Hasil uji Kuat Tekan Beton Porous Campuran *Fly Ash*
(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium)

Berdasarkan dari hasil grafik kuat tekan karakteristik beton porous diatas, diperoleh hasil kuat tekan yang optimal dihasilkan oleh campuran *Fly Ash* 25% yaitu sebesar 10,333 MPa, dan hasil kuat tekan yang menengah adalah pada variasi *Fly Ash* 35% sebesar 9,766 MPa, dan hasil kuat tekan yang paling rendah adalah pada variasi *Fly Ash* 15% yaitu sebesar 8,776 MPa.

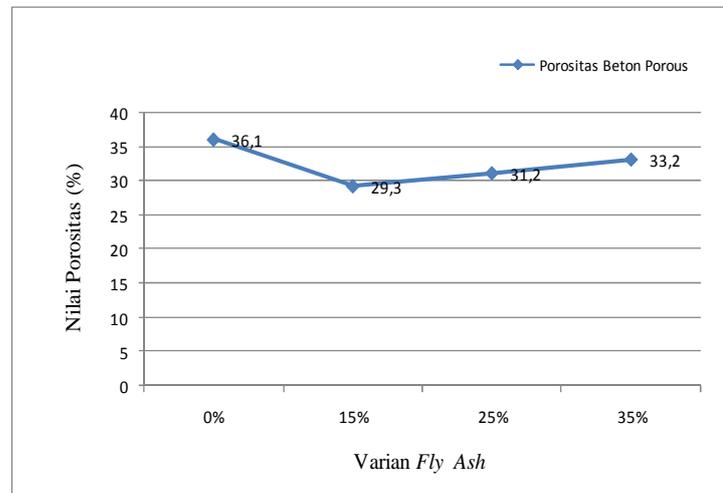
4.4 Pengujian Porositas Beton Porous

Tujuan dari pengujian porositas beton adalah untuk mendapatkan hasil perbandingan antara volume rongga-rongga udara terhadap volume total dari keseluruhan benda uji beton porous. Setelah dilakukan pengujian porositas terhadap benda uji beton berpori, maka dilakukan analisa terhadap data berat beton dalam keadaan kering dan berat beton dalam keadaan basah.

Tabel 14. Kebutuhan Bahan Untuk Satu Kali Adukan Benda Uji Silinder Porositas

Kadar Penambah Semen dengan <i>Fly Ash</i>	Total Volume (m ³)	Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)	Air (kg)
0%	0,0053	1,61	7,4	0%	0,66
15%	0,0053	1,61	7,4	0,241	0,66
25%	0,0053	1,61	7,4	0,402	0,66
35%	0,0053	1,61	7,4	0,563	0,66

Pengujian Porositas Beton Porous umur 28 hari



Gambar 4. Grafik Hasil Analisa Porositas Beton Porous Campuran *Fly Ash*

Berdasarkan grafik diatas, perolehan nilai porositas beton porous pada kondisi variasi 0% *fly ash* sebesar 36,1%. Pada kondisi variasi 15% *fly ash* mengalami penurunan sebesar 6,8% dengan nilai porositasnya 29,3%, tetapi semakin besar variasi *fly ash* yang digunakan, maka nilai porisitasnya semakin meningkat, atau porisitas beton berpori semakin meningkat, seiring berkurangnya penggunaan *fly ash* pada campuran beton berpori.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan:

1. Penambahan *fly ash* pada campuran beton porous terhadap kuat tekan rencana tidak terpenuhi, dikarenakan kuat tekan rencana jalan lingkungan yaitu sebesar 18 Mpa, dari penelitian ini kuat tekan yang didapat pada beton normal 0% adalah sebesar 9,483 Mpa dan hasil kuat tekan yang optimum pada penelitian ini dihasilkan pada campuran *Fly Ash* 25% dengan umur beton 28 hari dikategorikan rendah yaitu sebesar 10.333 MPa.
2. Penambahan *fly ash* pada campuran beton porous terhadap Porositas beton porous, yang dihasilkan pada campuran *Fly Ash* 15% dengan umur beton 28 hari dikategorikan terpenuhi yaitu sebesar 29.3%, Porositas yang optimum Beton normal 0%, pada umur beton 28 hari dikategorikan tinggi yaitu sebesar 36.1 % yang dimana menurut ACI R552-10 beton porous mengandung presentase tinggi sebesar 20% sampai 35%.
3. Komposisi campuran beton porous dengan *Fly Ash* yang Optimum untuk pada jalan beton di peroleh dari campuran hasi dari beton normal 0% dengan hasil Minimum diperoleh pada campuran *Fly Ash* 15% dengan nilai Porositas sebesar 29,3%.
4. Perlu dilakukan penelitian tentang kadar *Fly Ash* yang Optimum pada variasi yang baik atau dengan penambahan zat kimia tambahan.

REFERENSI

- ACI 522 R-10, 2010. *American concrete institute, Report on Pervious Concrete Farmington Hills, Michigan.*
- Ade Okvianti, Irlan, Dewi Rintawati Paikun, 2020, Studi Literatur Beton Berpori Dengan Penambahan *Fly Ash*, Superplasticizer, dan Serat Terhadap Kuat Tekan, Kilat, Vol,9,No,2, Oktober 2020.
- Ade Okvianti Irlan Grace Kurniawati Muhammad Sofya, 2020, Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan *Fly Ash* dan Superplasticizer Untuk Pemasangan Jalan Ramah Lingkungan, Kilat Vol.9, No 2, Oktober 2020.
- Celien Quinli Ondang, Steenie E. Wallah, Reky S. Windah, 2020 Sifat Mekanik Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Substitusi *Fly Ash* Terhadap Semen, jurnal sipil statik Vol No.4 Juli 2020.
- Daryanto, Ari Prabowo, Ary Setyawan Kusno Adi Sambowo, 2013, Desain beton berpori untuk pemasangan jalan yang ramah lingkungan, jurnal teknik sipil sebelat maret, 2013.
- Fitria Munita, Sari, Ary Setyawan, Kusno Adi Sambowo, 2013, Tinjauan Durabilitas Beton Berpori Sebagai Pemasangan Jalan Yang Ramah Lingkungan, jurnal teknik sipil sebelas maret. *Pd T-07-2005-B Mutu beton dan penggunaan.*
- SNI 7656-2012 tentang Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton.
- Standar Nasional Indonesia, 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Slinder, (SNI 1974-2011). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tjokrodinuljo, K., 2005, Teknologi Beton. Yogyakarta: Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.